

INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA PARA LA SINTONIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE UN PROCESO TÉRMICO UTILIZANDO UN PLC SIEMENS S7-300

I.E. Román Sarmiento Gómez



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
ESPECIALIZACIÓN EN CONTROL E INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL
BUCARAMANGA

2013

INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA PARA LA SINTONIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE UN PROCESO TÉRMICO UTILIZANDO UN PLC SIEMENS S7-300

I.E. Román Sarmiento Gómez

Monografía para optar al título de:
Especialista en Control e Instrumentación

Director:
PhD. Omar Pinzón

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
ESPECIALIZACIÓN EN CONTROL E INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL
BUCARAMANGA

2013

A Dios, que todo lo puede y que alienta mi trabajo. A mi familia que son el soporte de este proceso de crecimiento constante. A mi compañera y esposa como retribución a su esfuerzo de construir familia. A la Universidad Pontificia Bolivariana mi nueva “Alma Mater”

Mi especial agradecimiento al PhD. Omar Pinzón por la excelente colaboración en el desarrollo del presente trabajo. Sobre todo a su paciencia por ver realizada una pequeña parte de su idea.

A toda la planta de Ingeniería Electrónica que me brindo el tiempo y los recursos necesarios para terminar.

A las mujeres de mi hogar que me permiten dedicar el tiempo al proyecto personal.

Índice general

1. Introducción	3
1.1. Introducción	3
1.2. Objetivos	3
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	3
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
2. Descripción del proyecto.	5
2.1. Antecedentes	5
2.2. Planteamiento del Problema	6
3. Descripción del Modulo	7
3.1. Sistema Térmico	8
3.2. PLC industrial.	9
3.2.1. Power Supply PS 307	9
3.2.2. CPU315F-2 PN/DP	10
3.2.3. Módulo Digital I/O SM323	10
3.2.4. Módulo Analog I/O SM334	11
3.3. Señal de control	12
3.4. Elemento final de control	12
4. Solución Propuesta	14
4.1. HMI	14
4.1.1. RunTime	15
4.2. Consideraciones Generales	16
4.2.1. Configuración preliminar	16
4.2.2. Rango de Señal Vs Unidad de medición	16
4.2.3. Operación en lazo abierto	17
4.2.4. Curva de reacción	18
4.2.5. Limite mínimo del escalón	18
4.2.6. Limite máximo del escalón	19
4.3. Operación en lazo cerrado	20
4.3.1. Asignación de parámetros	20
4.4. Sistema de registro de información	21
4.5. Esquema de programación	22
5. Identificación y Sintonización	24
5.1. Descripción de los Datos	24
5.1.1. Ficheros de Variables	25
5.1.2. Métodos de archivación	26
5.1.3. Fichero <Identificacion>	26
5.2. Identificación	27
5.3. Bondad del Modelo	29

Índice general

5.4. Sintonización del Controlador	29
5.4.1. Diseño del controlador	30
6. Conclusiones.	32
Índice alfabético	34

Índice de figuras

3.1. Sistema de Temperatura	7
3.2. Módulo de control de temperatura	8
3.3. Sistema Térmico - Horno Tostador	9
3.4. PLC S7-300 y módulos IO	9
3.5. Fuente de Poder.	10
3.6. CPU 315F-2 DP.	10
3.7. Módulo Digital I/O SM323	11
3.8. Modulo Análogo	12
3.9. Salida de tiempo Proporcional	12
3.10. Relé de estado sólido.	13
4.1. HMI-Secciones	15
4.2. Acondicionamiento de Señal	16
4.3. Esquema de operación en lazo abierto	17
4.4. Respuesta al escalón	18
4.5. Limite máximo del escalón	19
4.6. Detalle de asignación de parámetros PID	20
4.7. Registro de información	21
4.8. Programación Estructurada	22
5.1. Fichero Variables	25
5.2. Métodos de archivación	26
5.3. Variables Fichero	26
5.4. Detalle fichero almacenado	27
5.5. Validación modelos	28
5.6. Sintonización PI - Lazo Cerrado	30
5.7. Valores PI	30
5.8. Modelo Simulink	30
5.9. Respuesta sistema lazo cerrado	31

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA PARA LA SINTONIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE UN PROCESO TÉRMICO UTILIZANDO UN PLC SIEMENS S7-300

AUTOR(ES): Román Sarmiento Gomez

FACULTAD: Esp. en Control e Instrumentación Industrial

DIRECTOR(A): Dr. Omar Pinzón Ardila

RESUMEN

El controlador PID es una de las estrategias de control más dinámicas y fáciles de configurar en sistemas dinámicos simples (sistemas de primer o segundo orden). Esto hace frecuente su uso en la pequeña y mediana empresa. Los fabricantes e instrumentistas han extendido su influencia llegando a concentrar hasta el 90% de los sistemas de control instalados en planta. Aunque es muy sencillo seleccionar sus parámetros de control, también es muy frecuente encontrar dispositivos instalados fuera de sus parámetros óptimos, incluso manteniendo sus parámetros de fábrica. Otra razón fundamental para estudio de sintonización de controladores PID es la evolución de las estrategias de control para procesos de temperatura, velocidad, posición o reacción química. Han evolucionado de tal manera que ya se encuentran integradas como librerías en sistemas de control distribuido lo cual se presenta aquí como una gran ventaja a la hora de una perfecta sintonización. Con el objetivo de profundizar en la sintonización de un controlador PID se utilizará una interfaz hombre-máquina para la identificación de una planta térmica mediante el procedimiento de curva de reacción. Una vez conocido el modelo de la planta se diseñará un controlador PID. Toda la implementación se realizará sobre la plataforma comercial s7-300 de SIEMENS con el objetivo que el lector pueda extender la metodología a otras plataformas comerciales.

PALABRAS CLAVES:

HMI, Controlador, PID, Sistema Dinámico, Modelo, Planta, PLC, SIEMENS, S7-300, Instrumentación

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: HUMAN MACHINE INTERFACE FOR TUNING AND IDENTIFICATION A THERMAL PROCESS USING A SIEMENS S7-300 PLC

AUTHOR(S): Román Sarmiento Gomez

FACULTY: Esp. en Control e Instrumentación Industrial

DIRECTOR: Dr. Omar Pinzón Ardila

ABSTRACT

The PID controller is one of the strategies most dynamic and easy to set up in simple dynamical systems (first or second order) control. This makes frequent use in small and medium enterprises. Manufacturers and instrumentalists have extended their influence reaching concentration to 90% of the control systems installed in the plant. Although it is very easy to select its control parameters, is also very common to find devices installed outside their optimal parameters, even keeping their factory settings. Another key reason to study tuning PID controllers is the evolution of control strategies for process temperature, speed, position or chemical reaction. They have evolved such that are already integrated as libraries in distributed control systems which is presented here as a great advantage when it comes to a perfect tuning. With the goal of further tuning PID controller a Human-Machine-Interface is used to identify a thermal plant using the method of reaction curve. Once you know the model of the plant a PID controller is designed. Any implementation will take place on the trading platform s7-300 SIEMENS in order that the reader can extend the methodology to other trading platforms.

KEYWORDS:

HMI, Controlador, PID, Sistema Dinámico, Modelo, Planta, PLC, SIEMENS, S7-300, Instrumentación

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1 Introducción

1.1. Introducción

Con la finalidad de mantener una variable de proceso lo más cerca posible al valor de consigna, generalmente se emplean estrategias de control mediante lazos que incluyen tanto la planta como a un controlador. La estrategia de control más utilizada es la de realimentar la medida del error, producto de comparar la señal de salida con la señal de consigna, para garantizar que el proceso aproxime su comportamiento a unos requerimientos deseados.

En muchos casos, especialmente en procesos industriales, un controlador del tipo PID es suficiente [2]. La simple configuración Controlador PID, planta y realimentación permite obtener un comportamiento deseado del proceso, y en ciertas ocasiones elimina por completo los efectos de disturbios.

El controlador por su parte, tiene parámetros que necesitan ajustarse. El lazo de control ideal será aquel en el que los parámetros sean escogidos satisfactoriamente, y el sistema control-planta se comporte conforme a los requerimientos. Una mala escogencia de estos parámetros puede terminar comprometiendo toda la estrategia de control.

Para lograr la correcta sintonización del controlador, nuestro enfoque será capturar datos del proceso que permitan identificar un modelo matemático de la planta, establecer los parámetros del controlador utilizando una herramienta software e implementar la estrategia de control directamente sobre una plataforma flexible y robusta como es el caso del PLC SIEMENS S7-300.

La robustez y seguridad con la que trabajan los sistemas distribuidos permite obtener un registro pormenorizado del proceso, coincidiendo en un solo “Data Center” registros históricos de las variables del proceso, consignas e incluso registros de acceso. Por este motivo la idea principal de esta implantación podrá ser llevada de manera directa a otras plataformas modulares.

1.2. Objetivos

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Sintonizar un proceso térmico utilizando un bloque PID del PLC S7-300 de la empresa Siemens

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar el modelo matemático de un proceso térmico mediante el procedimiento de curva de reacción.
- Sintonizar un controlador PID utilizando el bloque PID de un PLC S7-300 para controlar un proceso térmico en lazo cerrado.
- Diseñar una HMI (Interfaz Hombre-Máquina) para la sintonización e identificación de un proceso térmico.

2 Descripción del proyecto.

2.1. Antecedentes

El control industrial ha sido uno de los principales enfoques académicos dentro de la facultad de ingeniería electrónica. Gracias a esto, se han desarrollado instalaciones experimentales de procesos térmicos, que han permitido a la universidad estar a la vanguardia en cuanto a los métodos de sintonización y control.

Dichas configuraciones han permitido realizar sintonización y auto-sintonización de un controlador industrial, otras han permitido realizar la identificación de la planta y realizar a su vez el control del proceso.

La primera aproximación a un control de un sistema de temperatura la realizan [9]. Este trabajo abarca un control de un horno tostador realimentado mediante un sensor LM35 y realizando el control de temperatura a través de señal PWM, para determinar la potencia entregada al elemento de carga. Dicha solución implantó un control On/Off, dejando de lado el modelo de la planta.

En el campo de los controladores PID, el trabajo realizado por [1] tuvo el impacto deseado, permitiendo realizar la sintonización del un controlador PID industrial sobre un modelo de planta conocido. Los parámetros del controlador se determinaban mediante las técnicas de Ziegler – Nichols, mientras que el modelo de la planta se simulaba en tiempo real mediante Simulink. Esta interacción permitió realizar el ajuste de un controlador industrial, lo cual se ajustaba mucho más a lo necesario en el sector industrial.

Otro trabajo posterior en control [3]. Se limitó a implementar el control PID sobre sus lazos de control solo buscando mejorar el comportamiento del sistema realimentado, sin que el diseño estuviera sujeto a unos requerimientos y desconociendo el comportamiento físico de la planta como tal.

El trabajo realizado por [5], finalmente cubrió los aspectos de control On/Off, Control Predictivo basado en el modelo y control PID con anti-windup, aplicados sobre un modelo experimental de planta térmica. El modelo matemático se aproximó a un comportamiento de un sistema de primer orden con retardo, mediante el método de la pendiente máxima.

Dentro del campo de la investigación y formación, la Universidad Pontificia Bolivariana tiene a su disposición en el laboratorio de Control un desarrollo que permite realizar la identificación de un horno tostador y la posterior sintonización del controlador PID mediante la plataforma software LabView, su desventaja radica en la limitante del software y sobre la plataforma Windows. A nivel industrial esto significaría el uso de un PC dedicado a cada lazo de control en particular.

2.2. Planteamiento del Problema

El controlador PID (proporcional, integral y derivativo) sigue siendo la principal herramienta para el control de procesos industriales. Tiene especial atención sobre diseños de control de un simple lazo, pero también se puede encontrar en diseños en cascada, multivariable o sistemas complejos de varias entradas y salidas (MIMO).

Los costos reducidos, la fácil interpretación de sus componentes y la gran cantidad de modelos de sintonización y control [2] han logrado posicionar el control PID dentro de la columna vertebral en la automatización de plantas industriales.

Aunque el PID dentro del ámbito industrial representa el 90 % de los lazos de control, muchas de estos lazos no se encuentran debidamente sintonizados con los procesos [2] [4]. O'Dwyer [6], detalla que un 75 % de los lazos de control implementados no cumplen las expectativas de diseño, 65 % se encuentra funcionando con los parámetros de fábrica. Esto ocurre, según O'Dwyer, debido a que aún persisten inconvenientes en la sintonización de los PID, se continúan utilizando técnicas o procedimientos desactualizados (zieger-nichols) y en la mayoría de los casos el modelo del sistema se desconoce.

Esta motivación, es la que nos permite determinar que aun existen inconvenientes en la correcta sintonización de PID en la industria, ligados completamente a una mala identificación del proceso (planta).

A estos inconvenientes se añade que actualmente no existe una metodología correcta para integrar las nuevas tecnologías y la reincorporación certera de tecnología [8]. Teniendo claro, que hoy en día los lazos de control están siendo controlados no solamente por PID locales, sino a través de dispositivos más sofisticados como PLC o DCS e interactuando directamente con el proceso.

La implementación sobre una plataforma robusta y modular como el SIEMENS S7-300 permitirá realizar conjuntamente las tareas de control, supervisión y toma de datos del proceso y extender los resultados a procesos industriales reales y con más complejidad.

3 Descripción del Modulo

En la Figura 3.1 se muestra un diagrama funcional simplificado del modulo de control de perteneciente al laboratorio de control e instrumentación de la Universidad Pontificia Bolivariana. Este se compone principalmente en horno tostador comercial interconectado a un sistema PLC s7-300 SIEMENS, que se utiliza para albergar la estrategia de control en linea directa para la extracción de los datos, así como la estrategia de control en lazo cerrado que implementa el diseño del control PID.

Esta configuración se ha establecido de tal forma que el PLC pueda albergar juntas, la etapa de control en lazo directo y la etapa de control en lazo cerrado permitiendo así realizar la identificación del sistema y la sintonización del PID sin la manipulación del hardware.

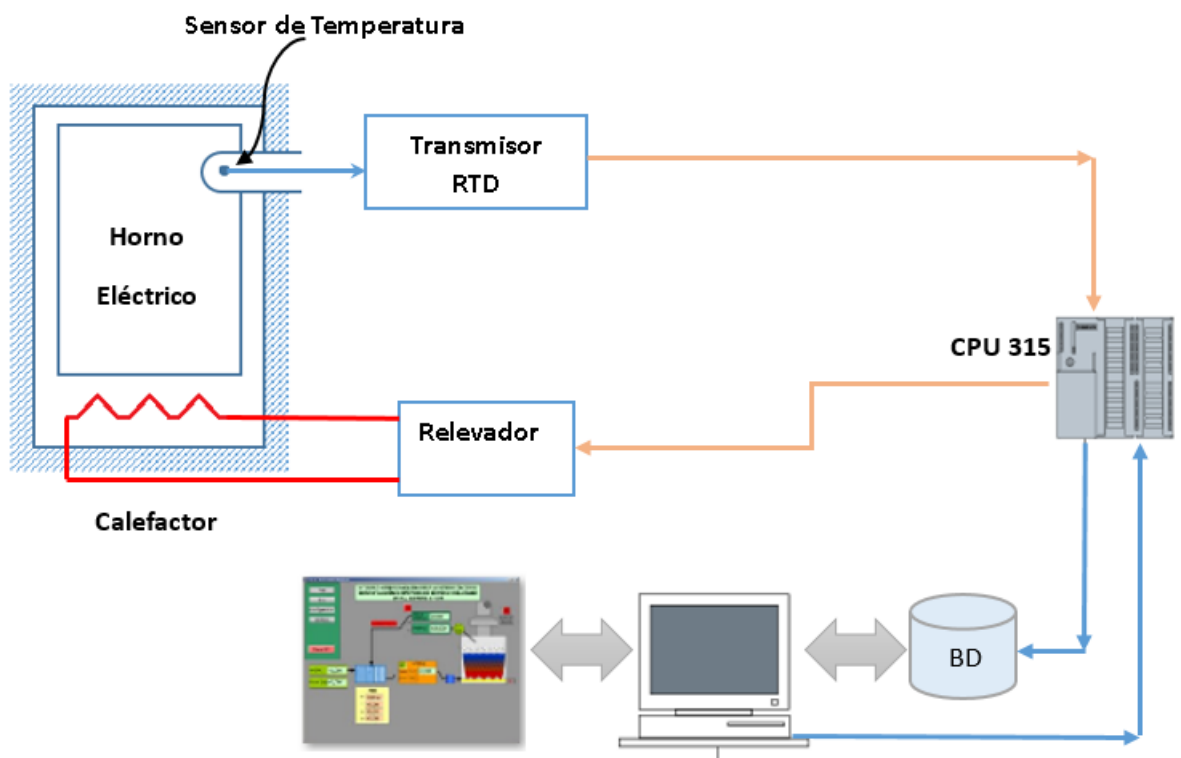


Figura 3.1: Sistema de Temperatura

El computador personal permite gestionar la estrategia de control que se programa en la memoria interna del PLC. Este también se utiliza para correr el sistema de *RunTime* (Subsección 4.1.1) que es la plataforma software donde se ejecuta la interfaz

3.1 Sistema Térmico

hombre maquina (HMI). Se utilizará además como unidad de almacenamiento de la base de datos del proceso.



Figura 3.2: Módulo de control de temperatura

En la Figura 3.2 se aprecia el módulo didáctico de control de temperatura que hace parte de la infraestructura del laboratorio de control de procesos. Sobre la parte superior se encuentra el módulo térmico que descansa sobre el gabinete de control, este realiza las veces de planta o sistema a controlar.

El sistema está instrumentado de tal manera que el control se realiza con una señal digital que se aplica sobre un relé de estado sólido SSR. De esta manera se controla la temperatura del horno a plena potencia, aumentando o disminuyendo el tiempo de aplicación de la señal de voltaje. Para lograr un sistema realimentado se ingresa al proceso la señal de temperatura a través de una PT100 mediante el acondicionamiento de señal por un transmisor de temperatura de 4 - 20mA.

Esta señal de corriente del transmisor se inyecta al módulo analógico acoplado en el sistema S7-300, logrando de esta forma un sistema en lazo cerrado funcional.

3.1. Sistema Térmico

El sistema térmico se comprende de un horno comercial de la marca Black&Decker, que comprende una carcasa en acero inoxidable con sistema de resistencias térmicas de 1500Watts, un selector de tiempo de cocción y un selector de intensidad. Diseñado para soportar una temperatura máxima de 200°C con protección interna de sobre carga y diseñado para una tensión de alimentación de 110 Voltios.

3.2 PLC industrial.

El horno ha sido acondicionado con un termo-pozo para albergar el sensor de temperatura y un sistema de ventilación mecánica para garantizar un tiempo de respuesta adecuado al proceso de identificación. La Figura 3.3 muestra el horno tostador empotrado en su gabinete individual.



Figura 3.3: Sistema Térmico - Horno Tostador

3.2. PLC industrial.

El PLC SIEMENS S7-300 es un equipo de automatización modular especialmente diseñado para la industria. Presenta una gran variedad de módulos de expansión que permiten un control distribuido o centralizado. Es uno de los PLC de la casa SIEMENS más comerciales.

En la Figura 3.4 se aprecia la implementación completa del sistema de control. Esta se comprende de la fuente de potencia, la CPU y los módulos IO digitales y análogos.

3.2.1. Power Supply PS 307

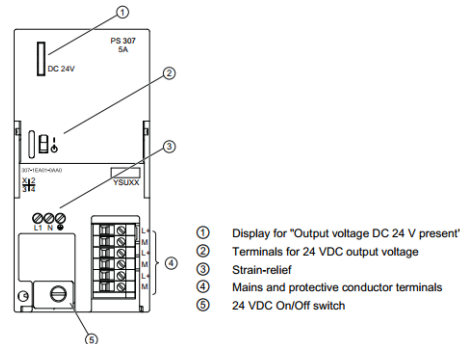
Este modulo proporciona una salida de 24 Vdc a corriente máxima de 5A, con conexión monofasica de alimentación en los rangos de voltaje de 120/230 VAC. Dadas las condiciones especiales de escalado del sistema S7-300, tanto los módulos



Figura 3.4: PLC S7-300 y módulos IO

3.2 PLC industrial.

como el CPU son alimentados por esta fuente, así como algunos componentes de instrumentación. En la Figura 3.5 se puede ver de manera general la descripción general del módulo junto con la descripción de su elementos principales.



fuelle:www.automation.siemens.com

Figura 3.5: Fuente de Poder.

3.2.2. CPU315F-2 PN/DP

Pertenece a la familia de las CPU estándar de segunda tecnología, que permite disponer en conjunto los protocolos industriales PROFINET y PROFIBUS, así como de comunicación MPI que hace factible la programación por cable dedicado.

Implementa a su vez una interfaz PG/PC por lo cual es fácilmente programable a través de una PC normal. Esta interfaz también hace posible que las variables del PLC sean manipulables y que se pueda ver el funcionamiento en caliente del proceso que se lleva a cabo en el PLC.



fuelle:www.automation.siemens.com

Figura 3.6: CPU 315F-2 DP.

3.2.3. Módulo Digital I/O SM323

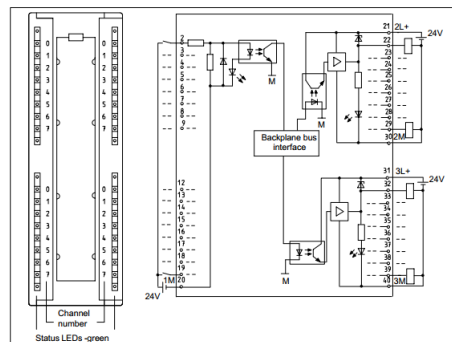
Se refiere a un módulo digital de 16 entradas y 16 salidas, con alimentación a 24 V dc. Permite un voltaje diferencial entre borneras hasta de 75 Vdc, lo que permite

3.2 PLC industrial.

una selección de “0” lógico en el rango de [-30 a +5V] dc y un rango de “1” lógico de [13 a 30V]. Dicho rango se ajusta correctamente las señales internas a los niveles On/Off requeridos en el proceso.

Puede ofrecer el control de cargas de hasta 0.5A por salida independiente y hasta un total de 4A de carga sobre el módulo completo. Es lo suficientemente robusto para soportar la conexión de switches, botones de mando, válvulas solenoides, contactores e incluso pequeños motores.

Sobre la parte externa se puede ver de manera luminosa mediante leds los valores binarios que se procesan en la unidad y que permiten identificar de manera gráfica las etapas activas del proceso. La Figura 3.7 muestra como es la configuración general de los terminales, detallando el tipo de protección para el manejo de las entradas y las salidas.



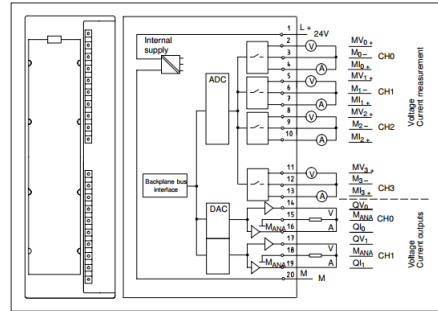
fuelle:www.automation.siemens.com

Figura 3.7: Módulo Digital I/O SM323

3.2.4. Módulo Analog I/O SM334

Este es un módulo análogo con resolución de 8bits de 4 entradas y 2 salidas. Con alimentación de 24 Vdc. Permite un rango dinámico de medición para voltaje de [0 a 10V] ó corriente de [0 a 20mA].

Las salidas implementadas permiten alimentar cargas de voltaje para el rango de [0 a 10V] ó corriente de [0 a 20mA]. Se ha diseñado para la operación directa con termocuplas, resistencias, resistencias térmicas. La selección de modo de operación de entrada/salida se limita al cableado sobre terminales específicos. Ver Figura 3.8



fuelle:www.automation.siemens.com

Figura 3.8: Modulo Analógico

3.3. Señal de control

Debido a que se trata de un proceso térmico, es posible realizar el control sobre las resistencias calefactoras a través de una señal digital On-Off , tanto para el sistema en lazo abierto como para el sistema en lazo cerrado.

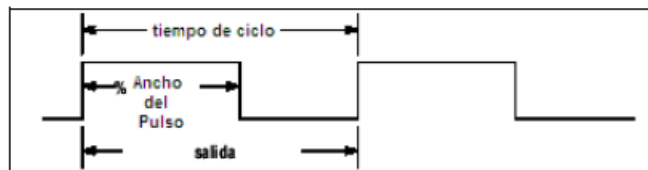


Figura 3.9: Salida de tiempo Proporcional

Este tipo de señal de control es básicamente una señal PWM (Figura 3.9) que permite lograr una estabilización del proceso térmico a distintos estados de equilibrio mediante la selección correcta de la modulación del ancho de pulso. Esta señal de control será también proporcional al valor de la variable de control una vez el sistema opere en lazo cerrado.

3.4. Elemento final de control

En nuestro caso el elemento final de control corresponde a un Relé de estado sólido o SSR (Figura 3.10). Se han determinado sus características para que opere a una tensión de carga de 110 VAC para una corriente máxima de 20A, mediante la aplicación de una tensión nominal de entrada en el rango de [5 a 24 VDC].

3.4 Elemento final de control

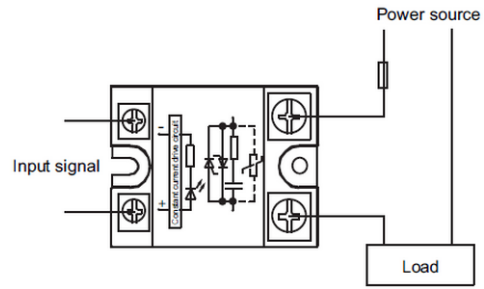


Figura 3.10: Relé de estado sólido.

4 Solución Propuesta

Las estrategias de control implementadas en core del sistema (CPU-s7300), diseñadas específicamente para la obtención del modelo de la planta junto con la interfaz (HMI) conforman la totalidad del proyecto desarrollado. La solución propuesta comprende entonces una interfaz hombre maquina que se ejecuta sobre un PC estándar y un conjunto de algoritmos que hacen posible la realimentación.

Dicha interfaz condiciona al proceso para operar en lazo abierto o en lazo cerrado, dependiendo de la etapa que se quiera ejecutar. La ejecución en lazo abierto servirá para la captura de datos necesarios para la identificación. Mientras que la ejecución en lazo cerrado servirá para comprobar el diseño del controlador PID implementado.

4.1. HMI

La interfaz hombre maquina es una herramienta software que le permite al operario interactuar con las variables del proceso. Permite también que el usuario final manipule los elementos finales remotamente. Tiene como objetivo refrescar las variables de la base de datos en pantalla y sirve como intermediario ODBC para el almacenamiento de las variables del proceso en una Base de Datos (BD).

El desarrollo consta de 3 secciones principales, la primera (1) permite que al operario realizar los ajustes necesarios y configuraciones iniciales, la segunda (2) comprende el esquemático de interconexión de planta y controlador (Figura 4.1) y la tercera (3) registra gráficamente un histórico del comportamiento de las variables.

Considerando los requerimientos del proceso la HMI propuesta responde a cada una de las siguiente categorías:

- **Monitoreo:** Permite obtener y mostrar los datos de planta en tiempo real. Se presentan dos tipos de datos: numéricos y gráficos. Los primeros servirán como leyenda para las variables estáticas y los segundos para representación de la respuesta del sistema y comportamiento del PID.
- **Supervisión:** Permite junto con el monitoreo el ajuste de los *setpoint* y de las configuraciones para lazo directo o lazo cerrado, así como la parametrización del PID.
- **Control:** Permite gestionar los algoritmos de control (*ejecutados en el core*) operando a través de *tags* los ciclos de ejecución. Esto permite al usuario mantener los valores críticos dentro del límite y ejecutar un tipo de maniobra en particular.
- **Históricos:** Permite muestrear y almacenar en archivo digital Sección 4.4, datos del proceso a un tiempo de captura de 1s. Este almacenamiento de datos es la base principal del proceso de identificación.

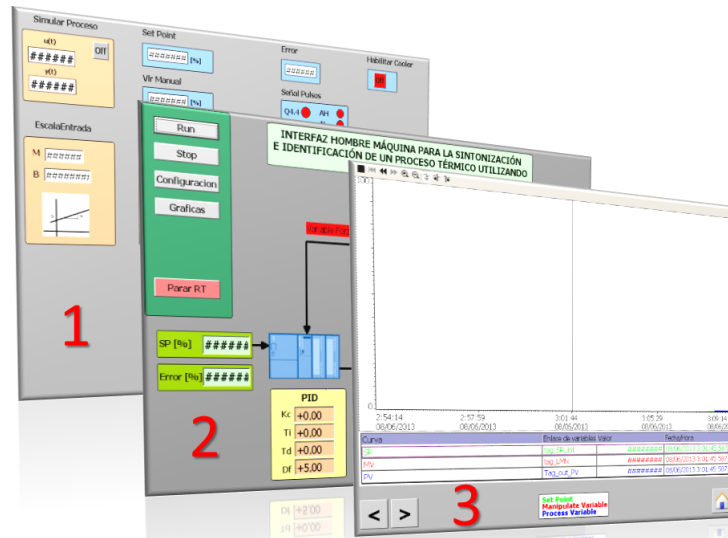


Figura 4.1: HMI-Secciones

4.1.1. RunTime

La mayoría de HMI's están diseñadas para ejecutarse sobre una pantalla táctil. Otras requieren de computadores dedicados o PC industriales debido a condiciones de seguridad, disposición de planta o robustez del proceso. La aplicación **RUNTIME** es un driver que se ejecuta en el equipo cliente PC y permite que la interface hombre maquina (HMI) se ejecute. Logra expandir las funcionalidades del PC a la interfaz; como el mouse, teclado y comunicación TCP/IP que no vienen implementadas por defecto en la pantallas industriales.

Esta integración bidireccional permite también gestionar con el computador los protocolos *ODBC* para la gestión de la base de datos. Permitiendo así, escalar la aplicación verticalmente en el modelo CIM (Centro Integrado de Manufactura).

4.2. Consideraciones Generales

4.2.1. Configuración preliminar

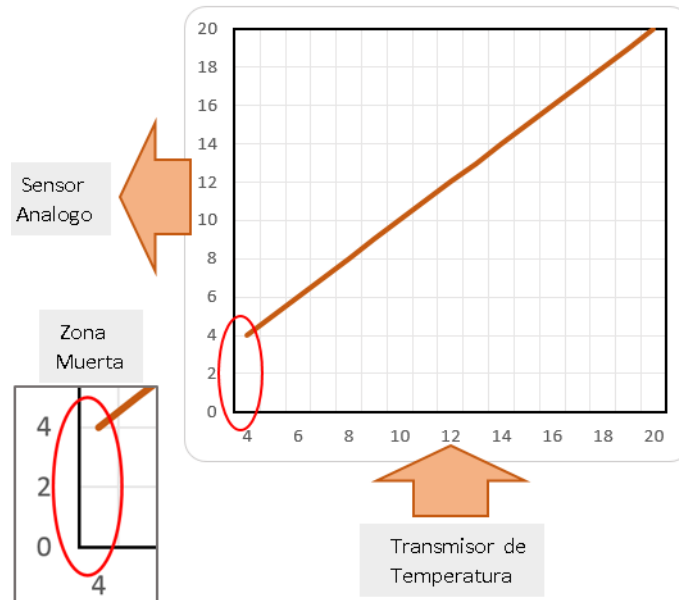


Figura 4.2: Acondicionamiento de Señal

La variable del proceso (PV) corresponde a una señal de temperatura. Dicha señal se captura a través de una PT-100 debidamente acondicionada mediante un transmisor de corriente.

El transmisor de corriente actúa en el rango 4 a 20 mA, sin embargo el módulo de entrada analógica (Figura 4.2) opera solamente entre los límites de 0 a 20 mA. Esta zona muerta (4mA) junto con el valor de temperatura ambiente (*offset*) tiene un efecto adverso en la resolución de la variable manipulada.

Una de las secciones del HMI permite al usuario observar el rango dinámico de señal, mediante el ajuste de escalas de la señal de temperatura. De esta forma evita perder más resolución en la señal de temperatura y puede obtener una señal adecuada para el proceso de identificación.

4.2.2. Rango de Señal Vs Unidad de medición

Debido a la naturaleza propia de las variables, las unidades de medición también discrepan unas de otras. Un cambio en la *amplitud* del pulso tiene un efecto en la *temperatura* y es percibido como un cambio en *corriente*.

4.2 Consideraciones Generales

Para evitar inconvenientes en el cambio de unidades, los valores de SetPoint, MV y PV se trabajan en el rango de 0 % a 100 % de señal *adimensional*.

Esta selección permite relacionar directamente la señal de salida Temperatura como efecto en un cambio de la señal de control (Figura 3.9). Efecto muy adecuado para el proceso de identificación. De esta forma se evita al usuario conversiones innecesarias entre valores de corriente y temperatura y se establece un método de comparación directo entre las fuerzas de actúan y las que se controlan.

4.2.3. Operación en lazo abierto

La operación en lazo abierto permite al operario realizar la curva de operación mediante la asignación de un valor adecuado de la variable manipulada.

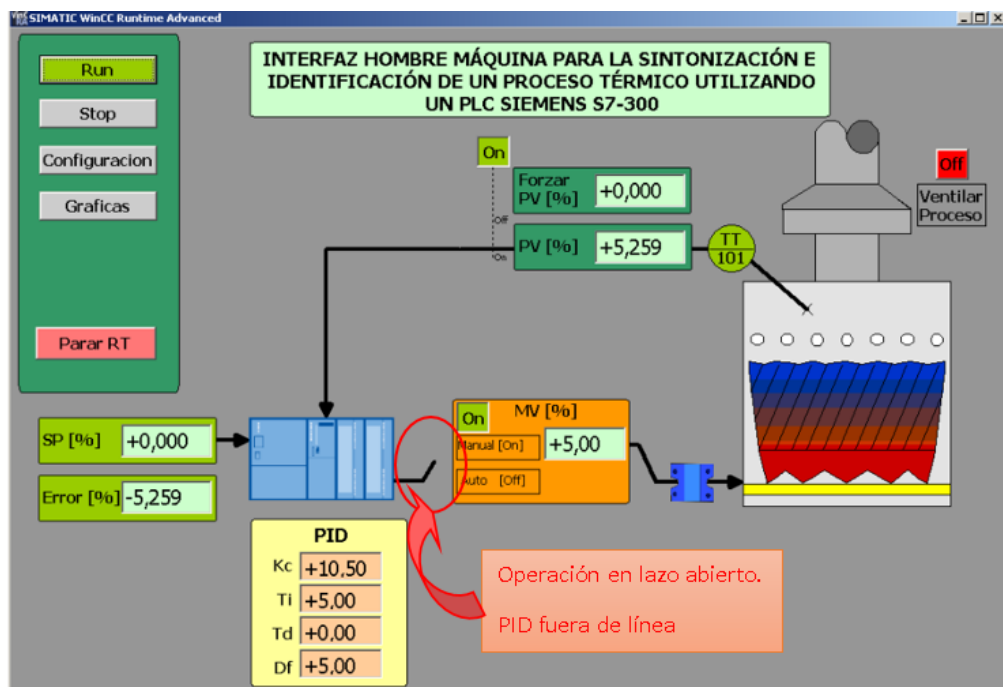


Figura 4.3: Esquema de operación en lazo abierto

El usuario puede asignar el valor que desee a la variable manipulada que será traducida a su vez una señal On/Off. El valor On [0-100 %] será equivalente al valor de la variable manipulada durante un ciclo de la señal de control.

Para la operación en lazo abierto el usuario debe escoger la configuración que se aprecia en la Figura 4.3 .

El switch de MV (Variable Manipulada) debe estar en modo manual, para que de esta forma el usuario pueda forzar el valor deseado.

4.2.4. Curva de reacción

El sistema empieza a responder una vez se altera del valor de la variable manipulada. En el histórico de los valores MV y PV (Figura 4.4), se puede ver la reacción del sistema térmico (marrón) y el SetPoint (azul) con relación al numero de muestras. Mediante estos dos históricos es posible encontrar una aproximación de las ecuaciones que modelan al sistema.

Cada curva de reacción esta determinada por las características especifica de fabricación del horno y las condiciones ambientales del laboratorio. Sin llegar a ser iguales entre cada planta y cada corrida. Para nuestro caso particular puede advertirse además que la salida no sigue de manera lineal la entrada.

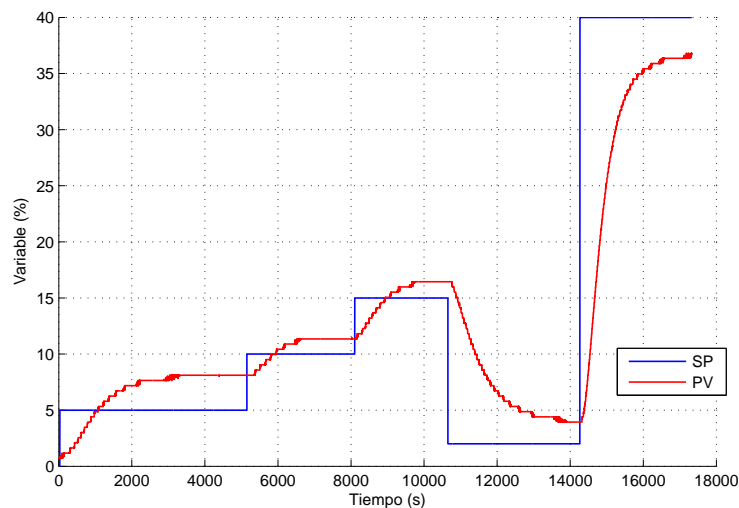


Figura 4.4: Respuesta al escalón

El proceso de identificación del sistema térmico se realiza a través de los datos del proceso que son almacenados en una base de datos. Estos datos se almacenan continuamente con un periodo de 1segundo. El *Runtime* garantiza que la totalidad de los datos necesarios para la identificación, se capturen en intervalos fijos de tiempo y se almacenen de forma segura.

4.2.5. Limite mínimo del escalón

Debido a las características propias de inercia del proceso térmico y a la forma de alimentar la resistencia de potencia (ver Sección 4.4), existe un escalón mínimo cuyo efecto se puede observar en un cambio en la señal de temperatura. El escalón mínimo también esta sujeto a las consideraciones de resolución mencionadas en el apartado Sección 4.4.

En la figura Figura 4.4 se puede ver el comportamiento de la planta a varios valores de MV (escalones). Para efectos prácticos se eligen un valor de escalón mínimo con valor a 5%. Valores inferiores están por fuera del limite lineal y la energía suministrada a la resistencia no es la suficiente para vencer la inercia térmica.

4.2.6. Limite máximo del escalón

El horno tostador tiene implementado una protección térmica que se acciona cuando el horno alcanza una temperatura de operación alta. Esta protección es intrínseca a la planta, ya que se trata de un horno tostador convencional.

En la Figura 4.5 se puede ver el efecto de desconexión de la resistencia de calefacción. Se señala además la máxima temperatura que alcanzará la planta sometida a una alimentación completa (100%). Este comportamiento ocurre cuando todavía el sistema no se ha alcanzado su valor en estado estacionario. Dicho efecto se considera una anomalía en la linealidad de la planta, por lo cual su efecto se considera indeseable.

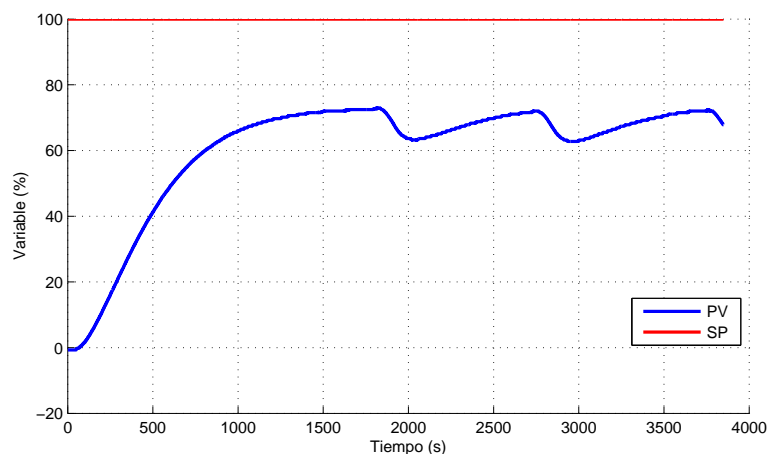


Figura 4.5: Limite máximo del escalón

Se escoge por lo tanto un valor de escalón de tal forma que no se alcance el limite de la protección térmica. Se ha determinado experimentalmente que un valor del 60% resulta adecuado para desarrollar el proceso de identificación.

Este requerimiento debe garantizarse debido al tipo de identificación que se hace del sistema (curva de reacción). Debido a que son necesarias tanto la señal de entrada como la señal de salida, el tiempo suficiente para alcanzar el valor en estado estacionario.

4.3. Operación en lazo cerrado

Constituye la fase final del proceso de sintonización. Es aquí donde se implementa una realimentación de la señal de temperatura (PV) y la señal de error pasa a través del controlador PID, para generar los valores necesarios de la señal manipulada (MV).

Desde la HMI el usuario simplemente selecciona el modo de lazo cerrado, regresando a MV a su estado automático (*Switch en OFF*). Internamente el circuito de control realiza el acople/desacople de la señal re-alimentada, además de realizar el procesamiento numérico que determina el valor justo de MV.

La funcionalidad acople/desacople el controlador PID, así como de la operación en lazo abierto y lazo cerrado, constituye una de las mayores ventajas de la presente implementación.

4.3.1. Asignación de parámetros

El controlador PID implementado en el esquema de control, está definido por la ecuación temporal:

$$LMN_Sum(t) = GAIN * ER(0)(1 + \frac{1}{TI}t + DF e^{\frac{-t}{TD/DF}})$$

Corresponde con un implementación digital que sigue el algoritmo de posición. Esto hace posible identificar claramente cada uno de sus componentes por separado y bastará con conocer el valor del error para determinar su efecto sobre el valor de la variable manipulada.

PID	
Kc	+10,50
Ti	+5,00
Td	+0,00
Df	+5,00

Figura 4.6: Detalle de asignación de parámetros PID

Dentro de la solución propuesta existe un apartado que permite observar por separado cada una de las componentes de la señal manipulada. Dando como beneficio que el operario pueda comprobar la correspondencia del modelo del PID con los datos obtenidos.

La vista principal permite asignar los parámetros del controlador PID de manera autónoma y su efecto es inmediato ya que la HMI escribe los valores directamente en bloque de función que implementa el control. Ver Figura 4.6

4.4. Sistema de registro de información

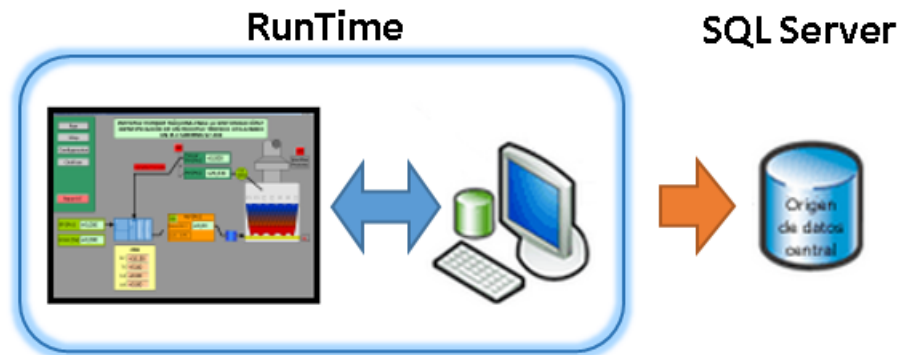


Figura 4.7: Registro de información

El registro de información se lleva a cabo de manera similar al existente en un sistema de control distribuido. Para esto se hace uso de un servidor SQL-SERVER 2005 que alberga las bases de datos del proceso. Esto permite disponer información de proceso de forma eficiente, correcta y en tiempo real.

El *RunTime* ((Subsección 4.1.1)) hace de interlocutor ODBC y desde la programación del HMI se implementan los ficheros de registro de variables, siguiendo el esquema descrito en la Figura 4.7. Este proceso de almacenamiento de variables permite que el proceso de identificación resulte más certero. Puesto que los datos son gestionados directamente por la HMI a intervalos fijos y sin la intervención del operario. Puede incluso llegar a registrarse toda la información del proceso desde que se ejecuta el runtime y por consiguiente la HMI.

También garantiza que se pueda acceder a los vectores de estímulo y respuesta directamente en formato vectorial, agilizando así el proceso de identificación. Dicha metodología facilita que el fichero de datos pueda leerse con herramientas externas como Office-Excel. Lo cual representa una ventaja para la generación de reportes e informes.

4.5. Esquema de programación

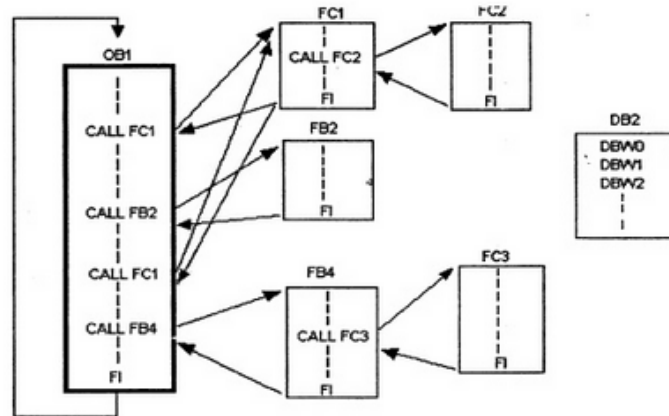


Figura 4.8: Programación Estructurada

El esquema de programación utilizada obedece a un sistema de programación por bloques o programación estructurada. Cada bloque funcional se ejecuta dentro de un ciclo. El ciclo principal coincide con el OB1 que es el ciclo principal donde se ejecuta los archivos necesarios para la ejecución primaria.

Este tipo de programación estructurada implica la división del programa en diversos bloques (Figura 4.8). Cada bloque por su cuenta constituye un sub-programa. Las ventajas de este tipo de programación son que posibilitan el test, la modificación y permiten aplicar un formato estándar a ciertas etapas del proceso.

Debido a que la implementación del ciclo de control PID requiere que la ejecución sea cíclica, el bloque se debe ejecutar en un FB particular. También se implementa un OB100 que permite ejecutar un ciclo de reset en caliente y llevar los estados necesarios a sus condiciones por defecto.

La programación estructurada permite también utilizar de diferentes tipos de módulos agilizando la depuración de errores. Dichos módulos permiten al usuario programar o almacenar datos. Algunos de los módulos especiales que permiten mantener la estructura:

- **Módulo de Organización:** Los módulos de organización (OBs) constituyen los módulos ejecutables del sistema. El OB1 es la subrutina principal en la que empieza el ciclo de programa de PLC y por la que finaliza. Toda subrutina para poder ser ejecutada debe ser llamada desde la OB1.
- **Módulo de Función FB:** Un módulo de función (FB) es un bloque que contiene una parte del programa y que controla una determinada área de la memoria. Este módulo ofrece la posibilidad de utilizar parámetros. Estos módulos se emplean para tareas repetitivas o funciones complejas.

- **Módulo de Funcion FC:** Una función (FC) es, de acuerdo a la norma IEC 1131-3, un módulo de datos estáticos. Ofrece la posibilidad de transferir datos al programa de usuario.
- **Módulos de DB:** Los módulos de datos (DB) constituyen áreas de datos en el programa de usuario. Sólo contiene datos.

5 Identificación y Sintonización

En este apartado se hará una descripción general del proceso de registro de los datos, cubriendo la generación de los ficheros de variables, los tipos de variables almacenadas y el formato de archivación. Se tratarán además los tópicos de identificación del sistema, validación del modelo y sintonización del controlador.

5.1. Descripción de los Datos

Los eventos de avisos (alarmas, alertas) y los valores de proceso pueden memorizarse en ficheros. Se utilizan por ejemplo para:

- Detección temprana de estados de peligro.
- Aumento de la calidad del producto.
- Optimización de ciclos de mantenimiento
- Acreditación de estándares de calidad.

Es evidente que también se pueden almacenar los datos de SetPoint y Salida indirectamente. Por tanto, un proceso de identificación se puede llevar a cabo con los datos que actualmente alimentan la BD o también validar la puesta en óptimo del proceso en lazo cerrado simplemente acudiendo al registro histórico de sus valores almacenados.

El presente trabajo hace énfasis en el recurso de archivación que poseen los PLC o DCS, como mecanismo de recolección de datos en línea del proceso en lazo abierto o lazo cerrado.

5.1.1. Ficheros de Variables

En RunTime se registran y procesan los valores del proceso que se van archivar y dependiendo del proyecto se almacenan en archivos o en la base de datos de ficheros.

El archivo de variables se controla mediante ciclos o eventos. Los ciclos de archivo se encargan de la adquisición y el almacenamiento continuos de los valores de proceso.

Para la archivación de una variable se definen las condiciones siguientes:

- Variable o fichero a través de la cual se archivarán los valores de la variable conectada.
- El fichero de variables en el que se guardará la variable
- El ciclo o evento con el que se guardará la variable.
- El rango de valores dentro del que se guardará la variable.

Ficheros de variables					
	Nombre ▲	Ubicación	Registros por ..	Modo del orig..	Nombre del origen d...
▼	componente_d	Base de datos	100000	Nombre defin...	registros
▼	componente_l	Base de datos	100000	Nombre defin...	registros
▼	componente_p	Base de datos	100000	Nombre defin...	registros
▼	Identificacion	Base de datos	100000	Nombre defin...	registros
▼	set_point	Base de datos	100000	Nombre defin...	registros
▼	variable_error	Base de datos	100000	Nombre defin...	registros

Figura 5.1: Fichero Variables

La Figura 5.1 describe cada uno de los ficheros utilizados para intercambiar datos con el proceso. El fichero llamado **Identificacion** contiene los datos de PV y SP. Por lo tanto, será el fichero utilizado para representar la curva de reacción y utilizado por la metodología de identificación.

En cada uno de los ficheros se almacenan 100000 registros de forma cíclica, cuyo almacenamiento inicia a la par con el RunTime, de esta forma se disponen datos desde el comienzo al final del proceso.

5.1.2. Métodos de archivación

En TIA PORTAL (WinCC) se pueden utilizar los siguiente métodos de archivo:

- Fichero circular.
- Fichero circular segmentado.
- Fichero con avisos del sistema dependiente del nivel de llenado.
- Fichero con disparo de una evento en función del llenado.

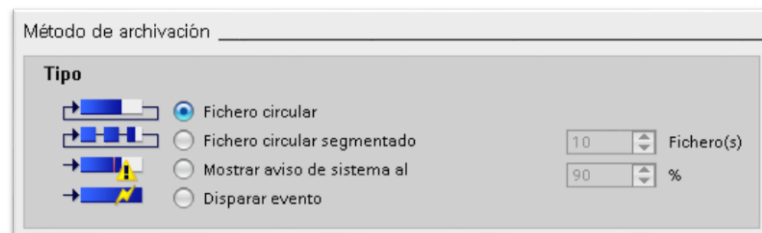


Figura 5.2: Métodos de archivación

Debido a las características del proyecto y a los objetivos planteados, para la archivación del fichero de variables se ha implementado el tipo de archivación de fichero circular. De esta forma los datos son renovados en cada proceso de operación de la HMI.

5.1.3. Fichero <Identificación>

Variables de fichero			
Name ▲	Variable de proceso	Modo de adquisición	Ciclo de archiv...
Variable_MV	MV	Cíclico	1 s
Variable_PV	PV	Cíclico	1 s
<Agregar>			

Figura 5.3: Variables Fichero

Este fichero contiene valores muestreados a razón de 1s (Figura 5.3) de las variables MV y PV. Para cada uno de los ficheros almacenados en la BD se registra además información referente al nombre de la variable, tiempo de captura (String), valor de variable, validez del datos, tiempo en mili-segundos.

En la Figura 5.4 se observa un detalle del formato de archivo almacenado en la BD. Los valores de variable se archivan forma conjunta en cada ciclo de escritura y por lo tanto necesitarán ser filtrados para obtener una componente por separado.

VarName	TimeString	VarValue	Validity	Time_ms
PV	21/03/2013 04:57:08 p.m.	0	1	41354706345
MV	21/03/2013 04:57:08 p.m.	0	1	41354706345
PV	21/03/2013 04:57:09 p.m.	0	1	41354706357
MV	21/03/2013 04:57:09 p.m.	0	1	41354706357
PV	21/03/2013 04:57:10 p.m.	0	1	41354706368

Figura 5.4: Detalle fichero almacenado

5.2. Identificación

Se trata de un método experimental que permite obtener el modelo de un sistema a partir de los datos recogidos del proceso, en esta etapa es común recurrir a herramientas software que ayudan a aplicar los algoritmos de identificación.

Una de las técnicas más conocidas para la determinación de los parámetros corresponde a la denominada *curva de reacción del proceso*. Dicha técnica permite generar el modelo a partir de la respuesta al proceso a un cambio escalón en la entrada y el registro conjunto de las señales entrada/salida.

Con el fin de aligerar la aplicación de los métodos de sintonización clásicos en controladores industriales, usualmente se supone que los sistemas reales de temperatura pueden modelarse por medio de un modelo de orden reducido. Algunos sistemas pueden representarse completamente con modelos de primer (Ecuación 5.1) o segundo (Ecuación 5.2) orden más tiempo muerto.

- Primer orden más tiempo muerto:

$$Gp(s) = \frac{Kp * e^{-t_m s}}{\tau s + 1} \quad (5.1)$$

- Segundo orden sobreamortiguado más tiempo muerto:

$$Gp(s) = \frac{Kp * e^{-t_m s}}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)} \quad (5.2)$$

De esta forma, el sistema queda totalmente definido una vez se estiman los parámetros de ganancia, tiempo muerto y las constantes de tiempo. Las metodologías más comunes basadas en la *curva de reacción del proceso* son:

- Métodos de la tangente (Miller, Ziegler- Nichols)
- Métodos de dos puntos (Alfaro, Chen-Yan, Smith)

5.2 Identificación

Estas técnicas determinan las componentes del sistema en base a cálculos realizados sobre la grafica de respuesta. Son técnicas empíricas ofrecen resultados aceptables con muy pocos cálculos de por medio.

Sin embargo, en nuestro caso particular, ya que se dispone no solo de la curva de reacción sino de los vectores de datos que la componen, es mucho más factible la utilización de herramientas software diseñadas específicamente al proceso de identificación. Utilizando la System Identification Toolbox de Matlab® y mediante la interfaz *Ident*¹ se determina de manera rápida un modelo de proceso para el conjunto de datos.

Se relacionan en la siguiente tabla los valores obtenidos del modelo para los datos del proceso descritos en la Figura 4.4

Orden	Modelo	% de Ajuste
1	$G(s) = \frac{1,5359 * e^{-30s}}{(1063,1s+1)}$	88.84
2	$G(s) = \frac{1,4875 * e^{-30s}}{(701,43s+1)(339,91s+1)}$	95.21

Se puede ver que el modelo de segundo orden mas tiempo muerto explica el modelo con menos de un 5 % de error.

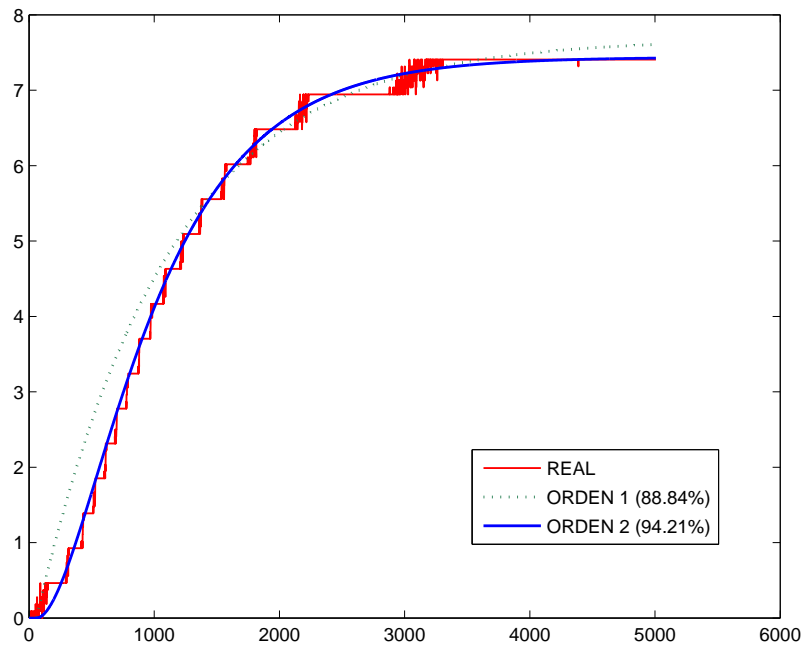


Figura 5.5: Validación modelos

La Figura 5.5 muestra la curva de reacción de cada uno de los modelos determinados en el apartado anterior comparándolo con el valor de proceso. Puede verse que el modelo de orden 2 es el modelo que mejor explica el sistema real.

¹El comando *Ident* permite obtener tanto modelos paramétricos como no-paramétricos del sistema

5.3. Bondad del Modelo

Una vez identificado un modelo se debe estimar que tan cerca está su respuesta al valor real del proceso.

Es posible definir de manera cuantitativa que tan acertado es un modelo, para esto podemos definir un índice de error de predicción con base en la respuesta temporal.

Se calcula entonces el error medio cuadrático -RMSE- (Ecuación 5.3), como la diferencia de salida de cada uno de los modelos (Orden 1 y 2) con respecto al valor real. El RMSE es un indicador positivo que indica el grado de explicación del sistema con el modelo propuesto. Valores cercanos al Cero(0) son indicativos que el modelo propuesto se aproxima bastante al modelo real. Se ve aquí nuevamente que el modelo de orden 2 es el que mas se aproxima al sistema real.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (r(k) - y(k))^2}{N}} \quad (5.3)$$

Orden	RMSE
1	0.3878 %
2	0.1212 %

5.4. Sintonización del Controlador

Una vez se ha determinado el modelo, el proceso de sintonización del PID se determina cumpliendo algunos requerimientos de funcionamiento en lazo cerrado del sistema. En nuestro caso particular deseamos obtener un comportamiento de error de seguimiento cero sujeto a un requerimiento de 10 % de OverShoot.

Debido a que la determinación de los parámetros del controlador PID depende completamente del modelo. Esto tiene como resultado que los parámetros individuales del PID varíen de un método a otro. A continuación se muestran los valores de las variables Kc, Ti y Td del controlador, cuando la planta se modela con el sistema de 2 orden mas tiempo muerto hallado en el apartado anterior.

5.4.1. Diseño del controlador

Sea $G(s) = \frac{1,4875 * e^{-30s}}{(701,43s+1)(339,91s+1)}$, sujeto al requerimiento $OS=10\%$

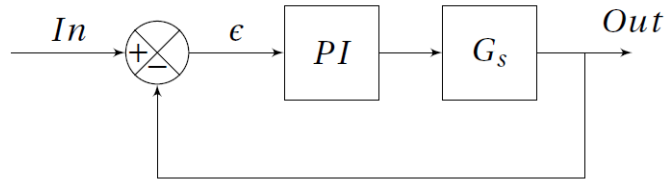


Figura 5.6: Sintonización PI - Lazo Cerrado

Utilizamos la herramienta SISOTOOL de Matlab para estimar los valores de las componentes K_p , T_i para el esquema de lazo cerrado descrito en la Figura 5.6. Este proceso nos da como resultado los siguientes valores: $K_p=0.285$, $T_i=1.09e3$

```

Continuous-time PI controller in standard form:

      1      1
Kp * (1 + ---- * ----)|
      Ti      s

With Kp = 0.285, Ti = 1.09e+003
  
```

Figura 5.7: Valores PI

La Figura 5.7 muestra el detalle arrojado en el *prompt* de Matlab del controlador sintonizado a los requerimientos. Nótese que los valores que se deben indicar en la forma PID Estandar. Ya que esta es congruente con la que se implementa internamente en la CPU S7-300.

La Figura 5.8 y la Figura 5.9 muestran la implementación en Simulink y la respuesta del sistema respectivamente.

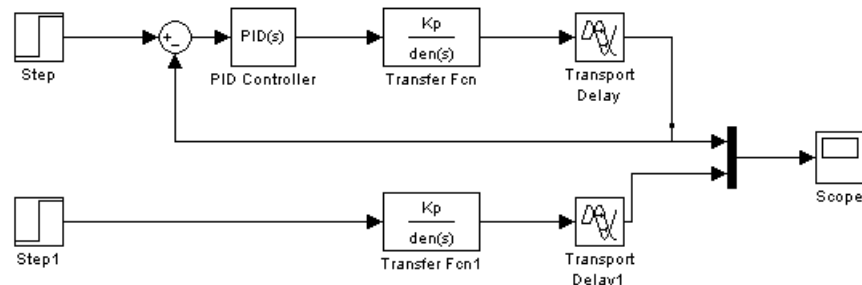


Figura 5.8: Modelo Simulink

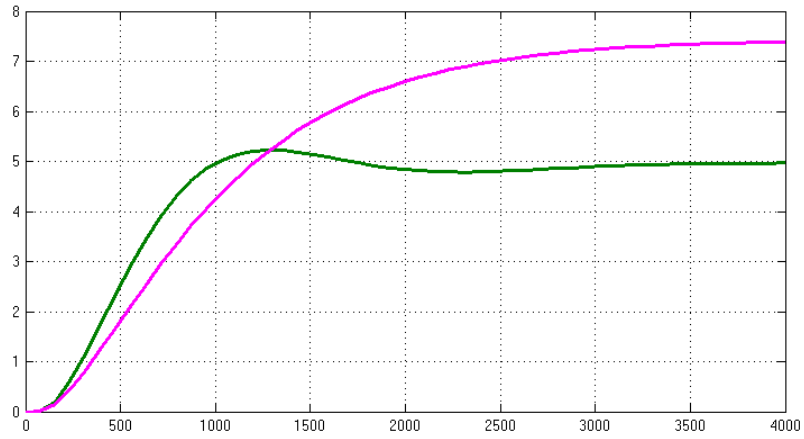


Figura 5.9: Respuesta sistema lazo cerrado

6 Conclusiones.

Se ha presentado una implementación mediante interfaz hombre máquina (HMI) que permite obtener un modelo matemático que explica en un 95 % la dinámica de un proceso térmico, mediante la metodología de curva de reacción del proceso.

La interfaz permite sintonizar controladores P, PI, PID. Además de permitir revisar y comparar cada una de las componentes de señal del controlador con su equivalente teórico matemático.

La implementación permite trabajar la metodología de curva de reacción para la identificación del modelo a través de un lazo abierto. Pudiéndose también sintonizar el controlador PID y observar el comportamiento en lazo cerrado sin dificultad.

La implementación presentada permite guardar los valores del proceso en un archivo seguro de base de datos para ser consultada luego de manera externa por otras herramientas software.

Todo lo anterior se desarrolló sobre un modelo abierto que permite realizar mejoras y ajustes del proceso de identificación y sintonización. Este mérito puede explorarse luego en la implementación otras metodologías de control fuera de la línea clásica aquí planteada.

Bibliografía

- [1] AGUILAR FORERO, Diana Carolina y MEDINA RODRÍGUEZ, Oscar Javier. Entrenador para el Ajuste de un PID Industrial. Bucaramanga, 2007, 93 p. Trabajo de Grado (Ingeniero Electrónico). Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. Facultad de Ingeniería y Administración. Escuela de Ingeniería Electrónica.
- [2] ASTRÖM, Karl Johan y HAGGLUND, Tore. PID controllers : theory, design, and tuning. 2 ed. North Carolina : Instrument Society of America, 1995. 343 p.
- [3] CORREA JAIMES, Yamir Arley y CARRILLO CIPAGAUTA, Ronald Daniel. Aplicación del PLC SIEMENS S7-200 para el posicionamiento automático en una mesa XY monitoreado por pantalla táctil. Bucaramanga, 2010, 75 p. Trabajo de Grado (Ingeniero Electrónico). Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. Facultad de Ingeniería y Administración. Escuela de Ingeniería Electrónica.
- [4] DAVID B. Ender. Process Control Performance : Not as Good as you Think. [En línea]. 1993. [Citado 10-abr-2012]. Disponible en internet: <http://www.protuner.com/perform.pdf>
- [5] HERNÁNDEZ, Emil; DÍAZ RODRÍGUEZ, Jorge Luis y PINZÓN ARDILA, Omar. Comparación de diferentes técnicas de control aplicadas al control de temperatura en tiempo real. En: Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada. Febrero, 2011, vol. 2, No. 18, p. 94-101.
- [6] O'DWYER, Aidan. PI and PID controller tuning rules: an overview and personal perspective. [En línea]. 2006. [Citado 10-abr-2012]. Disponible en internet: <http://arrow.dit.ie/cgi/viewcontent.cgi?article=1038&context=engscheleart>

Índice alfabético

Elemento final, 12

Modulo, 7

PLC, 9

 CPU, 10

 Modulo análogo, 11

 Modulo Digital, 10

 Power Supply, 9

RunTime, 15, 25

Señal de control, 12

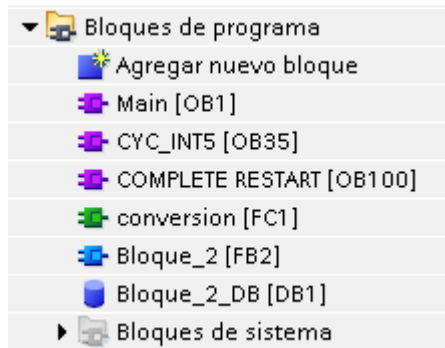
Sistema Térmico, 8

Anexos

Algoritmo de control

Bloques principales del esquema de control

Comprenden los bloques de función principal (OB1), ciclo de re-start en caliente (OB100), llamada cíclica de ejecución (OB35), función de conversión(FC1)

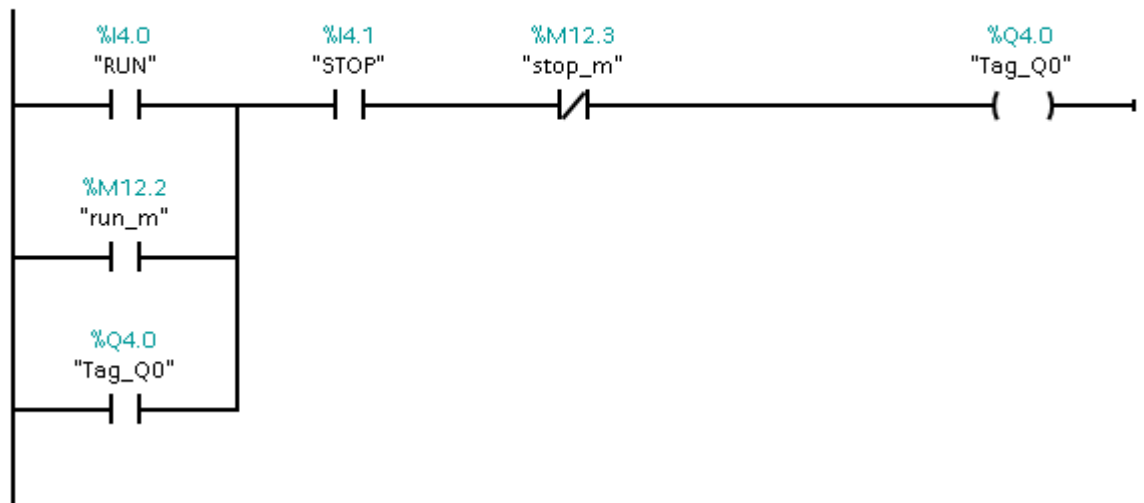


Componentes Main OB1

Es el encargado de activar el proceso mediante un enclavamiento. Da la alternativa de activar el modulo de PID.

▼ **Segmento 1:**

Comentario

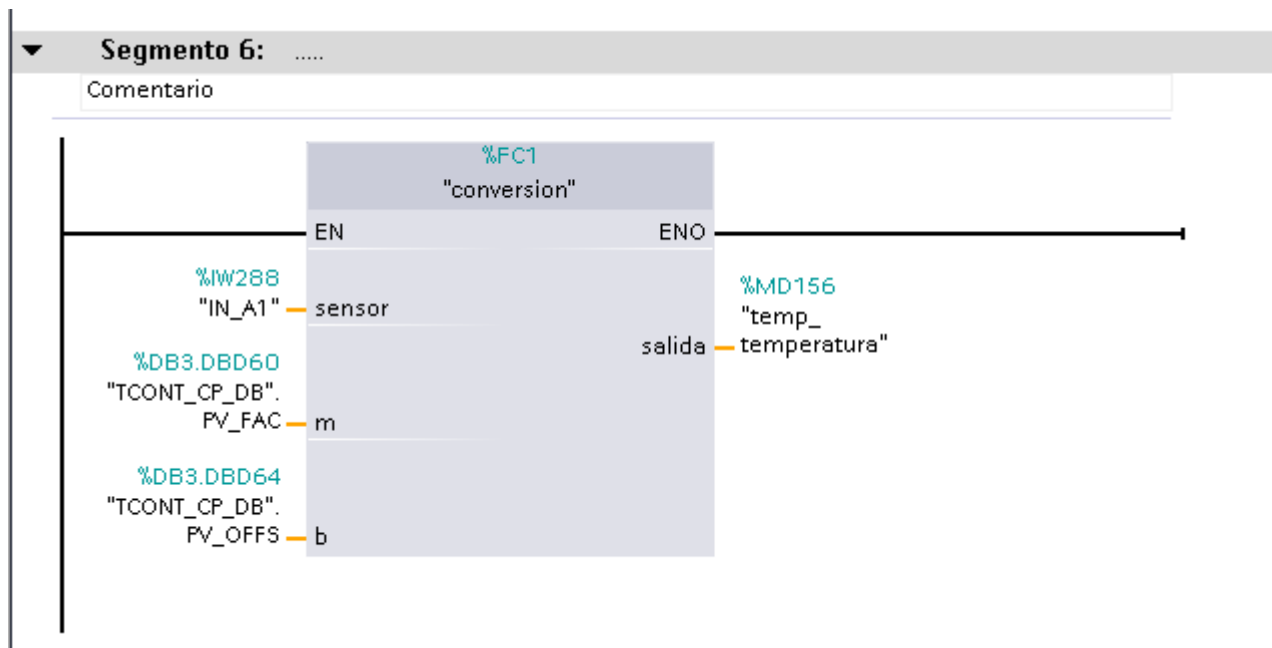


▼ **Segmento 2:**

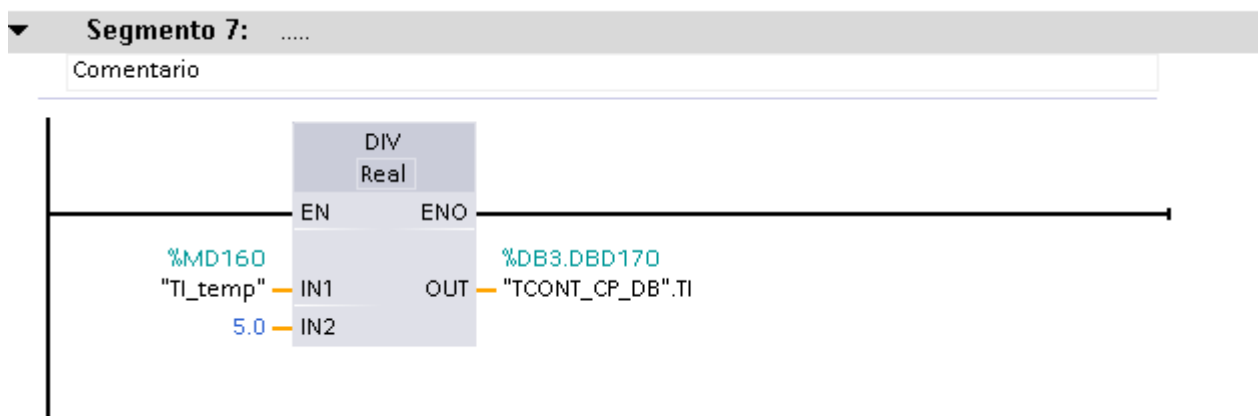
Comentario



Bloque de escalado de temperatura. Ejecuta el ciclo FC1



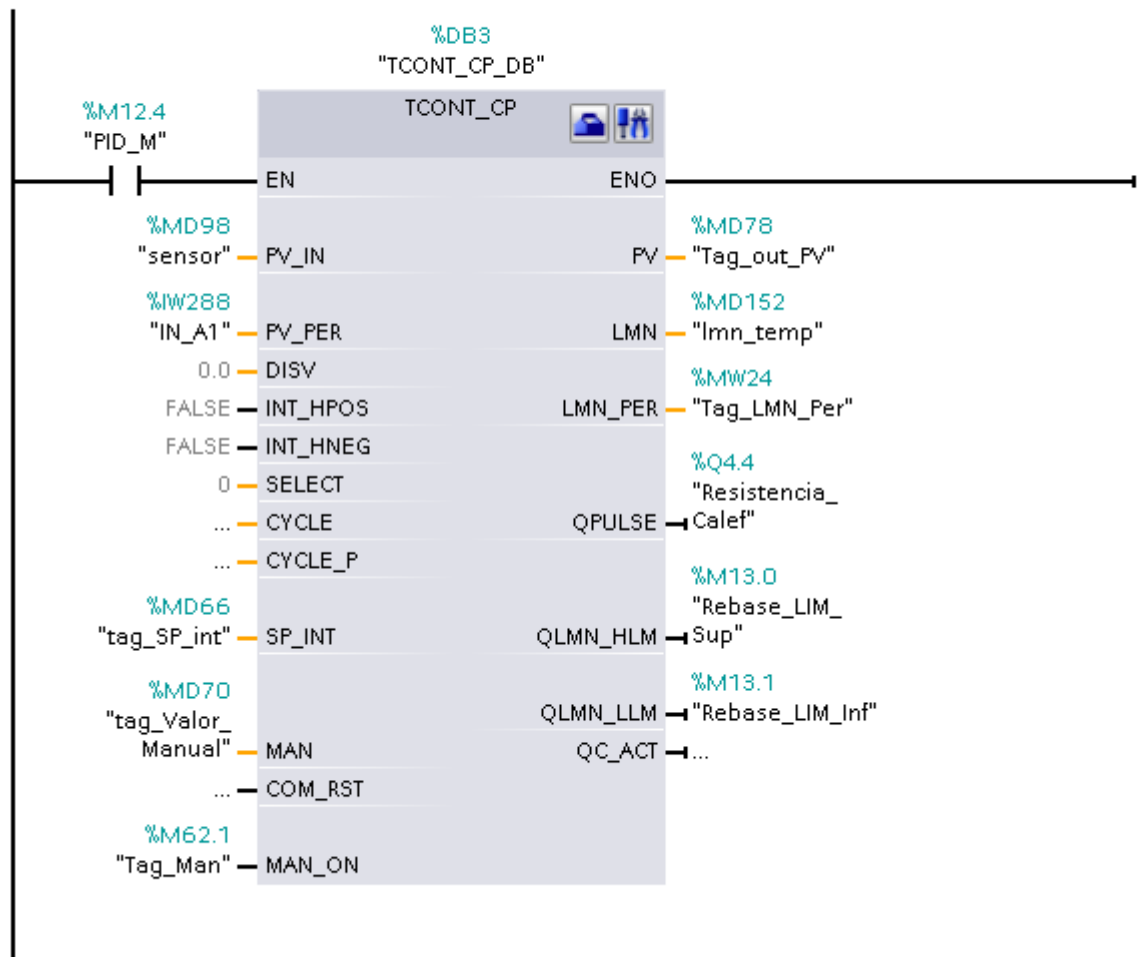
Ajuste de modelo de tiempo integral en el controlador PID



Bloque PID TCONT_CP_DB

Bloque PID para control de temperatura TCONT_CP_DB, que se ejecuta dentro del llamado cíclico OB35 cada 100ms.

Segmento 1:
 Controlador PID discreto con señal de entrada analoga por iw288 y salida a pulsos, simulacion del sensor con sistema en tiempo discreto



Bloque de conversión FC1

Realiza una función interna de manejo de variables locales.

Interfaz				
	Nombre	Tipo de datos	Offset	Comentario
1	Input			
2	sensor	Int		entrada sensor
3	m	Real		pendiente
4	b	Real		corte
5	Output			
6	salida	Real		
7	InOut			
8	<agregar>			
9	Temp			
10	temporal	Real	0.0	

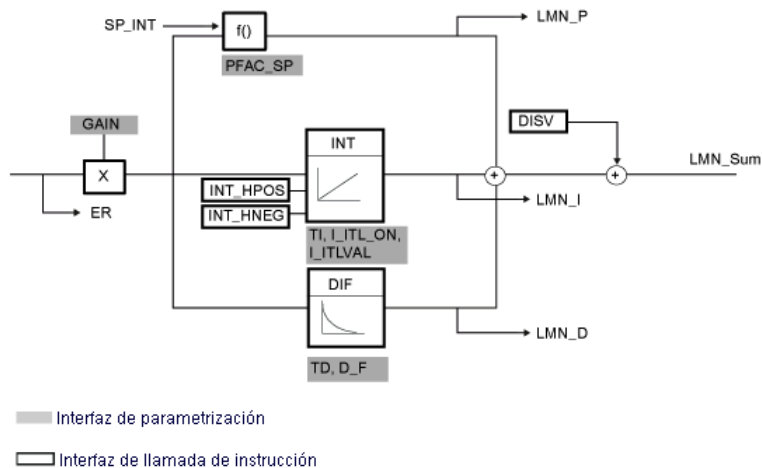
IF...	CASE... OF...	FOR..TO DO..	WHILE... DO...
1	#temporal_sensor:=#sensor;		
2	#temporal:=#temporal_sensor*100/27648;		
3	#salida:=#temporal*#m+#b;		

Librería de PID Estandar

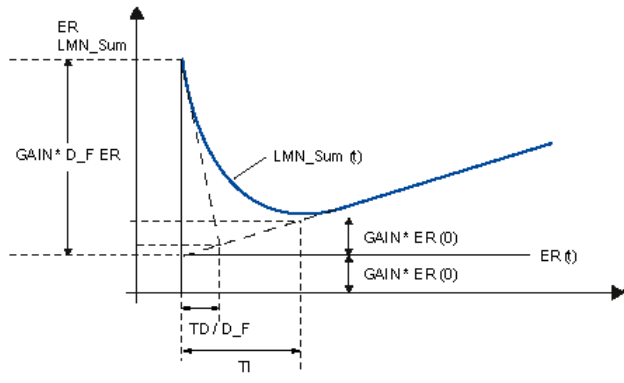
Fuente: www.automation.siemens.com

Algoritmo PID

En la siguiente figura se representa el diagrama de bloques del algoritmo PID.

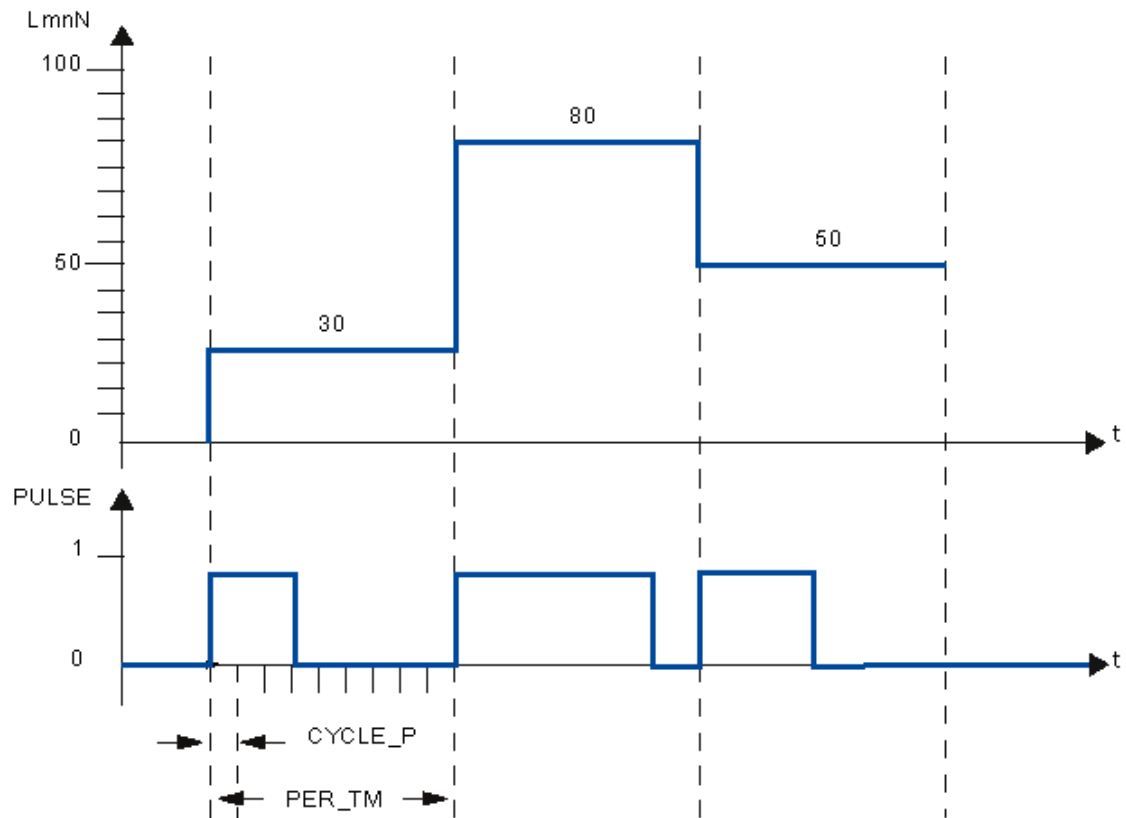


Componentes PID



Funcionamiento del generador de impulsos

La función PULSEGEN cambia la variable manipulada analógica LmnN mediante una modulación de ancho de impulsos en una secuencia de impulsos con la duración de período PER_TM. PULSEGEN se activa con PULSE_ON = TRUE y se procesa en el ciclo CYCLE_P.

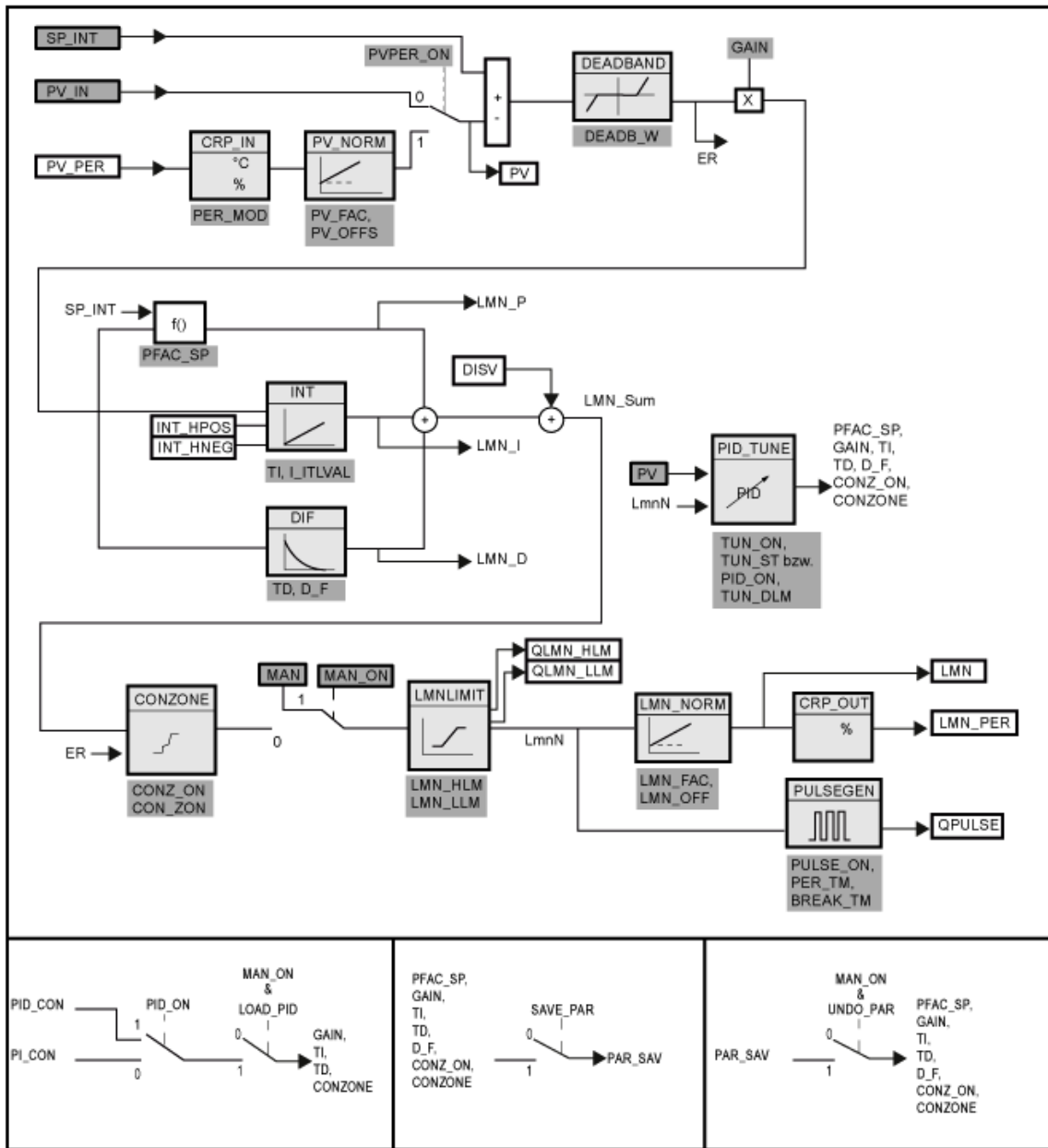


Una variable manipulada LmnN = 30 % y 10 llamadas de PULSEGEN por PER_TM suponen:

- TRUE en la salida QPULSE para las tres primeras llamadas de PULSEGEN (30 % de 10 llamadas)
- FALSE en la salida QPULSE para las otras siete llamadas de PULSEGEN (70 % de 10 llamadas)

La duración de un impulso por período es proporcional a la magnitud manipulada y se calcula del modo siguiente: $\text{Duración de impulso} = \text{PER_TM} * \text{LmnN} / 100$

Diagrama de bloques TCONT_CP



Parámetros de entrada de TCONT_CP

Parámetro	Dirección	Tipo de datos	Ajuste predeterminado	Descripción
PV_IN	0.0	REAL	0.0	En la entrada "Valor real de la entrada" se puede parametrizar un valor de puesta en marcha, o se puede conectar un valor real externo en coma flotante. Los valores válidos dependen de los sensores utilizados.
PV_PER	4.0	INT	0	El valor real en formato de periferia se conecta al regulador a través de la entrada "Valor real de la periferia".
DISV	6.0	REAL	0.0	Para realizar un control anticipativo, la magnitud perturbadora se conecta a la entrada "Variable perturbadora".
INT_HPOS	10.0	BOOL	FALSE	La salida del integrador se puede bloquear en sentido positivo. Para ello, la entrada INT_HPOS debe estar ajustada a TRUE. En caso de regulación en cascada, se conecta INT_HPOS del regulador piloto a QLMN_HLM del regulador secuencial.
INT_HNEG	10.1	BOOL	FALSE	La salida del integrador se puede bloquear en sentido negativo. Para ello, la entrada INT_HNEG debe estar ajustada a TRUE. En caso de regulación en cascada, se conecta INT_HNEG del regulador piloto a QLMN_LLM del regulador secuencial.
SELECT	12.0	INT	0	Si el formador de impulsos está conectado, existen varias posibilidades de llamar el algoritmo PID y el formador de impulsos: <ul style="list-style-type: none"> • SELECT = 0: el regulador se llama en un nivel de alarmas cíclicas rápido y se procesan el algoritmo PID y el formador de impulsos. • SELECT = 1: el regulador se llama en el OB1 y sólo se procesa el algoritmo PID. • SELECT = 2: el regulador se llama en un nivel de alarmas cíclicas rápido y sólo se procesa el formador de impulsos. • SELECT = 3: el regulador se llama en un nivel de alarmas cíclicas lento y sólo se procesa el algoritmo PID.

Parámetros de salida de TCONT_CP

Parámetro	Dirección	Tipo de datos	Ajuste predeterminado	Descripción
PV	14.0	REAL	0.0	En la salida "Valor real" se indica el valor real que actúa efectivamente. Los valores válidos dependen de los sensores utilizados.
LMN	18.0	REAL	0.0	En la salida "Variable manipulada" se indica la variable manipulada realmente efectiva en formato de coma flotante.
LMN_PER	22.0	INT	0	La variable manipulada en formato de periferia se conecta al regulador en la salida "Variable manipulada de la periferia".
QPULSE	24.0	BOOL	FALSE	La variable manipulada se emite con modulación de ancho de impulsos por la salida QPULSE.
QLMN_HLM	24.1	BOOL	FALSE	La variable manipulada está limitada siempre por un límite superior y uno inferior. La salida QLMN_HLM notifica el rebase del límite superior.
QLMN_LLM	24.2	BOOL	FALSE	La variable manipulada está limitada siempre por un límite superior y uno inferior. La salida QLMN_LLM notifica el rebase del límite inferior.
QC_ACT	24.3	BOOL	TRUE	El parámetro indica si se va a procesar la acción del regulador continuo en la siguiente llamada de bloque (sólo relevante si SELECT tiene el valor 0 ó 1).

Parámetros de entrada/salida de TCONT_CP

Parámetro	Dirección	Tipo de datos	Ajuste predeterminado	Descripción
CYCLE	26.0	REAL	0.1 s	Valor predeterminado del tiempo de muestreo para el algoritmo PID. El optimizador calcula el tiempo de muestreo en la fase 1 y lo deposita en CYCLE. CYCLE > 0.001 s
CYCLE_P	30.0	REAL	0.02 s	En esta entrada se indica el tiempo de muestreo para la acción del formador de impulsos. La instrucción TCONT_CP calcula el tiempo de muestreo en la fase 1 y lo deposita en CYCLE_P. CYCLE_P > 0.001 s
SP_INT	34.0	REAL	0.0	La entrada "Consigna interna" sirve para preseleccionar una consigna. Los valores válidos dependen de los sensores utilizados.
MAN	38.0	REAL	0.0	La entrada "Valor manual" sirve para predeterminar un valor manual. En modo automático, se corrige según la variable manipulada.
COM_RST	42.0	BOOL	FALSE	El bloque tiene una rutina de inicialización, que se ejecuta cuando se activa la entrada COM_RST.
MAN_ON	42.1	BOOL	TRUE	Si está activada la entrada "Conectar modo manual", el lazo de regulación está interrumpido. Como variable manipulada se especifica el valor manual MAN.

Variables estáticas de TCONT_CP

Parámetro	Dirección	Tipo de datos	Ajuste predeterminado	Descripción
DEADB_W	44.0	REAL	0.0	El error de regulación se conduce por una zona muerta. La entrada "Ancho de zona muerta" determina el tamaño de la zona muerta. Los valores válidos dependen de los sensores utilizados.
I_ITLVAL	48.0	REAL	0.0	La salida del integrador se puede aplicar en la entrada I_ITL_ON. En la entrada "Valor de inicialización para la

				<p>acción I" está el valor de inicialización. Durante el re arranque completo COM_RST = TRUE, la acción I se ajusta al valor de inicialización.</p> <p>Se admiten valores entre -100 y 100 %.</p>
LMN_HLM	52.0	REAL	100.0	<p>La variable manipulada está limitada siempre por un límite superior y uno inferior. La entrada "Límite superior de la variable manipulada" indica el límite superior.</p> <p>$LMN_HLM > LMN_LLM$</p>
LMN_LLM	56.0	REAL	0.0	<p>La variable manipulada está limitada siempre por un límite superior y uno inferior. La entrada "Límite inferior de la variable manipulada" indica el límite inferior.</p> <p>$LMN_LLM < LMN_HLM$</p>
PV_FAC	60.0	REAL	1.0	<p>La entrada "Factor de valor real" se multiplica por "Valor real de la periferia". La entrada sirve para adaptar el rango del valor real.</p>
PV_OFFS	64.0	REAL	0.0	<p>La entrada "Offset de valor real" se suma a "Valor real de periferia". La entrada sirve para adaptar el rango del valor real.</p>
LMN_FAC	68.0	REAL	1.0	<p>La entrada "Factor de la variable manipulada" se multiplica por la variable manipulada. La entrada sirve para adaptar el rango de la variable manipulada.</p>
LMN_OFFS	72.0	REAL	0.0	<p>La entrada "Offset de la variable manipulada" se suma a la variable manipulada. La entrada sirve para adaptar el rango de la variable manipulada.</p>
PER_TM	76.0	REAL	1.0 s	<p>En el parámetro PER_TM se introduce la duración del periodo de la modulación de ancho de impulsos. La relación entre duración de periodo y tiempo de muestreo del formador de impulsos determina la precisión de la modulación de ancho de impulsos.</p> <p>$PER_TM \geq CYCLE$</p>
P_B_TM	80.0	REAL	0.02 s	<p>En el parámetro "Duración mínima de impulso" o "Duración mínima de pausa" se puede parametrizar una duración de pausa o de impulso mínima. P_B_TM se limita internamente a $> CYCLE_P$.</p>

TUN_DLMN	84.0	REAL	20.0	<p>La excitación del proceso para la optimización del regulador se realiza mediante un salto de la variable manipulada de TUN_DLMN.</p> <p>Se admiten valores entre -100 y 100 %.</p>
PER_MODE	88.0	INT	0	<p>En este conmutador se puede indicar el tipo del módulo E/S. El valor real de la entrada PV_PER se normaliza así en la salida PV de la siguiente manera.</p> <ul style="list-style-type: none"> • PER_MODE = 0: termopares; PT100/NI100; Estándar PV_PER * 0.1 Unidad: °C, °F • PER_MODE = 1: PT100/NI100; Climatización PV_PER * 0.1 Unidad: °C, °F • PER_MODE = 2: Intensidad/tensión PV_PER * 100/27648 Unidad: %
PVPER_ON	90.0	BOOL	FALSE	<p>Si se debe leer el valor real de la periferia, la entrada PV_PER debe estar interconectada con la periferia, y la entrada "Activar valor real de periferia" debe estar activada.</p>
I_ITL_ON	90.1	BOOL	FALSE	<p>La salida del integrador se puede aplicar a la entrada I_ITLVAL. Para ello debe estar activada la entrada "Inicializar acción I".</p>
PULSE_ON	90.2	BOOL	FALSE	<p>Con PULSE_ON = TRUE se activa el formador de impulsos.</p>
TUN_KEEP	90.3	BOOL	FALSE	<p>No se pasa al modo automático hasta que TUN_KEEP sea FALSE.</p>
ER	92.0	REAL	0.0	<p>En la salida "Error de regulación" se indica el error de regulación que actúa realmente.</p> <p>Los valores válidos dependen de los sensores utilizados.</p>
LMN_P	96.0	REAL	0.0	<p>La salida "Acción P" contiene la acción proporcional de la magnitud manipulada.</p>
LMN_I	100.0	REAL	0.0	<p>La salida "Acción I" contiene la acción integral de la magnitud manipulada.</p>
LMN_D	104.0	REAL	0.0	<p>La salida "Acción D" contiene la acción derivativa de la magnitud manipulada.</p>

PHASE	108.0	INT	0	<p>En la salida PHASE se indica la fase de ejecución actual de la optimización del regulador.</p> <ul style="list-style-type: none"> • PHASE = 0: no hay modo de optimización; modo automático o manual • PHASE = 1: disponibilidad para la optimización; comprobar parámetros, esperar excitación, medir los tiempos de muestreo • PHASE = 2: optimización propiamente dicha: Búsqueda de punto de inversión con variable manipulada constante. Entrada del tiempo de muestreo en el DB de instancia. • PHASE = 3: cálculo de los parámetros del proceso. Guardar los parámetros del regulador válidos antes de la optimización. • PHASE = 4: diseño del regulador • PHASE = 5: corrección del regulador a la nueva variable manipulada • PHASE = 7: verificación del tipo de sistema
STATUS_H	110.0	INT	0	STATUS_H indica un valor de diagnóstico a través de la búsqueda del punto de inversión en el proceso de calentamiento.
STATUS_D	112.0	INT	0	STATUS_D indica un valor de diagnóstico a través del diseño del regulador en el proceso de calentamiento.
QTUN_RUN	114.0	BOOL	0	La optimización se ha iniciado mediante la aplicación de la magnitud manipulada de optimización y en estos momentos se encuentra en la fase 2 (búsqueda del punto de inversión).

PI_CON	116.0	STRUCT		Parámetros PI del regulador
GAIN		REAL	0.0	Ganancia PI del regulador %/unidad física
TI		REAL	0.0 s	Tiempo de integración PI [s]
PID_CON	124.0	STRUCT		Parámetros PID del regulador
GAIN		REAL	0.0	Ganancia PID del regulador
TI		REAL	0.0s	Tiempo de integración PID [s]
TD		REAL	0.0s	Tiempo de acción derivada PID [s]
PAR_SAVE	136.0	STRUCT		En esta estructura se guardan los parámetros PID.

PFAC_SP		+0.0	REAL	1.0	Ganancia proporcional al cambiar la consigna Se admiten valores comprendidos entre 0.0 y 1.0.
GAIN		+4.0	REAL	0.0	Ganancia del regulador %/unidad física
TI		+8.0	REAL	40.0 s	Tiempo de integración [s]
TD		+12.0	REAL	10.0 s	Tiempo de acción derivada [s]
D_F		+16.0	REAL	5.0	Factor de acción derivada Se admiten valores comprendidos entre 5.0 y 10.0.
CON_ZONE		+20.0	REAL	100.0	Ancho de zona de regulación Si el error de regulación es mayor que el ancho de la zona de regulación, se emite el límite superior de la variable manipulada como variable manipulada. Si el error de regulación es menor que el ancho de la zona de regulación negativa, se emite el límite inferior de la variable manipulada como variable manipulada. CON_ZONE ≥ 0.0
CONZ_ON		+24.0	BOOL	FALSE	Activar zona de regulación
PFAC_SP	162.0		REAL	1.0	PFAC_SP indica la acción P efectiva en caso de modificación de la consigna. Se ajusta entre 0 y 1. <ul style="list-style-type: none"> • 1: La acción P también está completamente operativa en caso de modificaciones de la consigna. • 0: La acción P no está operativa en caso de modificaciones de la consigna. Se admiten valores comprendidos entre 0.0 y 1.0.
GAIN	166.0		REAL	2.0	La entrada "Ganancia proporcional" indica la ganancia del regulador. El sentido de actuación del regulador se invierte mediante el signo negativo de GAIN. %/unidad física
TI	170.0		REAL	40.0 s	La entrada "Tiempo de integración" (tiempo de acción integral) determina el comportamiento temporal del integrador.

TD	174.0	REAL	10.0 s	La entrada "Tiempo de acción derivada" (tiempo de anticipación) determina el comportamiento temporal del diferenciador.
D_F	178.0	REAL	5.0	El factor de acción derivada determina el retardo de la acción D. D_F = tiempo de acción derivada/"Retardo de la acción D" Se admiten valores comprendidos entre 5.0 y 10.0.
CON_ZONE	182.0	REAL	100.0	Si el error de regulación es mayor que el ancho de la zona de regulación, se emite el límite superior de la variable manipulada como variable manipulada. Si el error de regulación es menor que el ancho de la zona de regulación negativa, se emite el límite inferior de la variable manipulada como variable manipulada. Los valores válidos dependen de los sensores utilizados.
CONZ_ON	186.0	BOOL	FALSE	Con CONZ_ON =TRUE se puede activar la zona de regulación.
TUN_ON	186.1	BOOL	FALSE	Si TUN_ON=TRUE se toma el promedio de la variable manipulada hasta que se aplica la excitación de la variable manipulada TUN_DLMN mediante un salto de consigna o TUN_ST=TRUE.
TUN_ST	186.2	BOOL	FALSE	Si la consigna debe permanecer constante durante la optimización del regulador en el punto de operación, se aplica un salto de la variable manipulada de TUN_DLMN mediante TUN_ST=1.
UNDO_PAR	186.3	BOOL	FALSE	Carga los parámetros del regulador PFAC_SP, GAIN, TI, TD, D_FCONZ_ON y CON_ZONE desde la estructura de datos PAR_SAVE (sólo en modo manual).
SAVE_PAR	186.4	BOOL	FALSE	Guarda los parámetros del regulador PFAC_SP, GAIN, TI, TD, D_F, CONZ_ON y CON_ZONE en la estructura de datos PAR_SAVE.
LOAD_PID	186.5	BOOL	FALSE	Carga los parámetros del regulador GAIN, TI,TD en función de PID_ON desde la estructura de datos PI_CON o bien PID_CON (sólo en modo manual)

PID_ON	186.6	BOOL	TRUE	<p>En la entrada PID_ON se puede determinar si el regulador optimizado debe trabajar como regulador PI o PID.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Regulador PID: PID_ON = TRUE • Regulador PI: PID_ON = FALSE <p>Puede ocurrir que en algunos tipos de proceso sólo se diseñe un regulador PI a pesar de PID_ON = TRUE.</p>
GAIN_P	188.0	REAL	0.0	Ganancia del proceso identificada. En el tipo de sistema I, se tiende a estimar un valor demasiado bajo para GAIN_P.
TU	192.0	REAL	0.0	Tiempo de retardo identificado del proceso. TU ≥ 3*CYCLE
TA	196.0	REAL	0.0	Tiempo de compensación identificado del proceso. En el tipo de sistema I, se tiende a estimar un valor demasiado bajo para TA.
KIG	200.0	REAL	0.0	Subida máxima del valor real con una excitación de la variable manipulable de 0 a 100 % [1/s] GAIN_P = 0.01 * KIG * TA
N_PTN	204.0	REAL	0.0	El parámetro indica el orden del proceso. También se pueden utilizar "valores no enteros". Se admiten valores comprendidos entre 1.01 y 10.0.
TM_LAG_P	208.0	REAL	0.0	Constante temporal de un modelo PTN (valores significativos sólo para N_PTN >= 2).
T_P_INF	212.0	REAL	0.0	Tiempo desde la excitación del proceso hasta el punto de inversión.
P_INF	216.0	REAL	0.0	Modificación del valor real desde la excitación del proceso hasta el punto de inversión. Los valores válidos dependen de los sensores utilizados.
LMN0	220.0	REAL	0.0	Variable manipulada al principio de la optimización Se calcula en la fase 1 (valor medio). Se admiten valores entre 0 y 100 %.

PV0	224.0	REAL	0.0	Valor real al principio de la optimización
PVDT0	228.0	REAL	0.0	Subida del valor real al iniciar la optimización [1/s] Con adaptación de signo.
PVDT	232.0	REAL	0.0	Subida momentánea del valor real [1/s] Con adaptación de signo.
PVDT_MAX	236.0	REAL	0.0	Modificación máx. del valor real por segundo [1/s] Derivación máxima del valor real en el punto de inversión (con adaptación de signo, siempre > 0); se utiliza para calcular TU y KIG.
NOI_PVDT	240.0	REAL	0.0	Nivel de ruido en PVDT_MAX en % Cuanto mayor sea el nivel de ruido, menos precisos (de efecto más suave) serán los parámetros del regulador.
NOISE_PV	244.0	REAL	0.0	Ruido absoluto en el valor real Diferencia entre el valor real máximo y mínimo en la fase 1.
FIL_CYC	248.0	INT	1	Número de ciclos del filtro de valores medios Se calcula un valor medio del valor real a partir de FIL_CYC ciclos. En caso necesario, FIL_CYC se aumenta automáticamente entre 1 y máx. 1024.
POI_CMAX	250.0	INT	2	Número máx. de ciclos tras el punto de inversión Este tiempo se utiliza para encontrar otro punto de inversión (es decir, uno mejor) en caso de ruidos de medición. Sólo entonces concluye la optimización.
POI_CYCL	252.0	INT	0	Número de ciclos tras el punto de inversión